

原子核高自旋超形变谱学研究

罗亦孝 钟纪泉

(中国科学院近代物理研究所)

摘要:本刊1988年第三、四期“原子核高自旋超形变的研究”一文对高自旋超形变谱学作了初步介绍。本文综合分析近两年来该领域的新进展。两年来, $A \sim 190\text{Hg} - \text{Pb}$ 超形变区的确认; $A \sim 150$ 区奇质子核及更多超形变核的发现; $A \sim 130 - 140$ 区奇质子超形变核和 Sm 超形变核的研究; 同一个核中多重超形变带的发现; 各超形变区超形变带丰富的谱学现象, 超形变组态 - 高 j 侵入轨道的不同占据对超形变带谱学性质的成功描述, 及对理论模型的检验和修正; $A \sim 190$ 和 $A \sim 150$ 区相邻(同位素和同中素)核中超形变带一系列性质的极端相似——超形变带中内禀自旋排列和质子激发的发现; 超形变、高自旋下的对关联研究; 超形变带退激进入正常形变带的时间延迟的实验测定; 超形变退激机制的研究; 应用于 $\text{Hg} - \text{Pb}$ 区超形变带自旋指定的一种有效方法等, 都是原子核超形变研究的主要成果。此外, 铜系区超形变核中与同质异能裂变竞争的、由位能面第二极小向第一极小退激的“返回” γ 衰变($E1$ 跃迁)的实验测定, 是原子核在零自旋和低自旋下超形变研究的一个重要进展。

前言

六十年代初期铜系区形状同质异能素的发现和 Strutinsky 方法的理论研究揭示了原子核在零自旋和低自旋下的超形变现象^[1]。其后的理论工作预示了某些核区原子核在高自旋下发生超形变——轴长比大于 1.35:1 的长椭球形变的可能性^[2]。以 ^{152}Dy 和 ^{152}Ce 高自旋超形变转动带的重要发现为开端^[3], 原子核高自旋超形变态谱学的研究已成为核结构研究的前沿领域之一。

众所周知, 原子核的转动激发是同核物质的各向异性分布, 即形变直接有关的。转动耦合来自转动坐标系中作用于核子的柯利奥莱力和离心力。这种转动耦合显著地影响了单粒子运动, 使原子核形状发生改变以处于

最小能量。

在转动液滴模型中, 宏观转动性质是完全由表面能和库仑能、离心能的竞争决定的。引入壳修正后, 微观壳效应将显著改变原子核的转动性质。由于在单粒子谱中存在与超形变值对应的显著的壳效应, 某些由形变幻数决定的粒子数(相应于一定的核区)将在高自旋条件下使原子核产生稳定的超形变。高 j 侵入轨道的 β 驱动效应对于超形变的形成和稳定起着重要作用。

随着高效率、高分辨、高峰总比的在束 γ 符合探测技术的发展和日臻完善, 人们已确认了更多的超形变区和更多的超形变核, 积累了有关超形变谱学的丰富实验数据, 并已发现, 超形变带的特殊性质——大形变值、特殊的布居模式、退激方式(退激频率、退激路径、退激跃迁性质等)、自旋范围、相对强度、高转动惯量和转动惯量 ~ 转动频率变化关系等, 均随不同核区、不同质子数、中子数而呈现显著的、有规律的变化。这就为研究超形变核核结构, 检验和发展理论模型提供了重要的谱学信息。本文按质量区综合分析近两年来原子核高自旋超形变实验和理论研究的进展, 包括某些尚未定论, 或有争议的观点, 以供参考。

一、 $A = 190\text{Hg} - \text{Pb}$ 超形变区的确认和谱学研究

理论和衰变 γ 、在束 γ 和激光谱学的研究早已指出, $\text{Hg} - \text{Pb}$ 缺中子区核随电荷数 Z 、中子数 N 和自旋 I 表现出形状共存和形状渐进变化的丰富物理现象^[4]。正是 Hg 缺中子同位素中发现的形状共存现象首次证实了

Hamilton 等人提出的关于原子核形状共存现象的理论预言^[5]。近两年来, A=190Hg - Pb 区超形变实验研究的迅速进展是高自旋超形变态谱学研究最引人注目的成果。该核区现已成为世界上各主要实验室开展超形变研究的重点核区。

1. A = 190Hg - Pb 区高自旋超形变的理论预言

1.1 1982年, S. Aberg 的推转计算在预言 A ~ 150 区高自旋超形变的同时, 也作出了 Hg - Pb 区存在高自旋超形变的理论预言^[6]。1987年, J. Dudek 的推转 - Strutinsky 计算给出了该核区超形变值, 指出该核区超形变将在比 A=150 区更低的自旋下出现^[7]。与此同时, M. S. Wiss 等人对 Hg 同位素进行了微观三维 Hartree - Fock 计算^[8]。之后, P. Bonche 等使用 Skyrme 势及对能项进行了更详细的位能面计算^[9]。M. Girod 等使用密度相关的有效力 (Gogny 相互使用), 进行了 Hartree - Fock - Bogoliubov 计算^[10]。R. R. Chasman 使用 Woods - Saxon 势在该区域进行了系统的推转 - Strutinsky 计算^[11]。考虑到在理论计算中大量使用的推转 - Strutinsky 方法的重要性, 我们在这里介绍一种典型的、使用 Woods - Saxon 势, 并考虑对能的推转 - Strutinsky 方法:

在引入转动自由度情况下, 原子核总能量为

$$E_{total}^{\omega} = E_{macro}^{\omega} + E_{micro}^{\omega} \quad (1)$$

上述各项均是质子数 Z、中子数 N、四极形变参数 β 和转动频率 ω 的函数; 其中 E_{micro}^{ω} 为微观壳能量项; 而宏观能量项

$$E_{macro}^{\omega} = E_{macro}^{\omega=0} + \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (2)$$

这里, 右边第一项常取为经典液滴模型能量, J 为转动惯量。

在转动坐标系中, 总能量 (总罗斯量 - 总 Routhian)

$$R^{\omega} = E_{total}^{\omega} - \omega J = E_{total}^{\omega} - \omega^2 J \quad (3)$$

将(1)和(2)式代入(3)式, 得

$$R^{\omega} = E_{macro}^{\omega=0} - \frac{1}{2} J \omega^2 + E_{micro}^{\omega} \quad (4)$$

而(1)式中微观壳能量项

$$E_{micro}^{\omega} = \sum e_v^{\omega} - \langle \sum e_v^{\omega} \rangle_{shell} \\ (H - \omega j_x) \psi_v^{\omega} = e_v^{\omega} \psi_v^{\omega} \quad (5)$$

将(5)式作一简单处理:

$$E_{micro}^{\omega} = \sum e_v^{\omega} - \sum e_v^{\omega=0} + \sum e_v^{\omega=0} \\ - \langle \sum e_v^{\omega=0} \rangle_{shell} + \langle \sum e_v^{\omega=0} \rangle_{shell} \\ - \langle \sum e_v^{\omega} \rangle_{shell} \quad (6)$$

由(5)式还有

$$E_{micro}^{\omega=0} = \sum e_v^{\omega=0} - \langle \sum e_v^{\omega=0} \rangle_{shell} \quad (7)$$

并考虑到对 Woods - Saxon 势, 有

$$\langle \sum e_v^{\omega=0} \rangle_{shell} - \langle \sum e_v^{\omega} \rangle_{shell} \approx \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (8)$$

将(7)和(8)式代入(6)式, 得

$$E_{micro}^{\omega} = (\sum e_v^{\omega} - \sum e_v^{\omega=0}) + E_{micro}^{\omega=0} \\ + \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (9)$$

代入(4)式, 得

$$R^{\omega} = E_{macro}^{\omega=0} + E_{micro}^{\omega=0} + \sum (e_v^{\omega} - e_v^{\omega=0}) \quad (10)$$

为将对能考虑在内, 应把对能项加入上式

$$R^{\omega} \rightarrow R^{\omega} + R_{Pair}^{\omega} \quad (11)$$

这里

$$R_{Pair}^{\omega} = \langle H^{\omega} \rangle - \sum e_v^{\omega} \\ = \langle (H + H_{Pair} - \omega j_x) \rangle_{HFBC} \\ - \sum e_v^{\omega} \quad (12)$$

将(11)和(12)式代入(10)式, 得

$$R^{\omega} = E_{macro}^{\omega=0} + E_{micro}^{\omega=0} + (\langle H^{\omega} \rangle_{HFBC} \\ - \sum e_v^{\omega=0}) \quad (13)$$

定义

$$E_{Pair}^{\omega=0} = \langle H^{\omega=0} \rangle_{HFBC} - \sum e_v^{\omega=0} \quad (14)$$

$$\delta \langle H^{\omega} \rangle_{HFBC} = [(\langle H^{\omega} \rangle_{HFBC} - \sum e_v^{\omega=0}) \\ - E_{Pair}^{\omega=0}] \quad (15)$$

(13)式变为

$$R^{\omega} = E_{macro}^{\omega=0} + E_{micro}^{\omega=0} + E_{Pair}^{\omega=0} + \delta \langle H^{\omega} \rangle_{HFBC} \quad (16)$$

$$\delta \langle H^\omega \rangle_{HFBC} = (\langle H^\omega \rangle_{HFBC} - \langle H^{\omega=0} \rangle_{HFBC}) + (\langle H^{\omega=0} \rangle_{HFBC} - \sum e_v^{\omega=0}) - E_{par}^{\omega=0} \quad (17)$$

将(17)和(14)式代入(16)式,最后得

$$R^\omega = E_{macro}^{\omega=0} + E_{micro}^{\omega=0} + E_{par}^{\omega=0} + [\langle H^\omega \rangle_{HFBC} - \langle H^{\omega=0} \rangle_{HFBC}] \quad (18)$$

对于激发的组态,应加上相应的 n 准粒子激发项

$$R_{n-qp}^\omega = R^\omega + \sum E_m^\omega \quad (19)$$

上述总能面的计算预言在一系列核区存在总能面上的超形变第二极小。

包括上述理论计算在内的所有的理论计算均指出, A=190Hg-Pb 区核将在比 A ~ 150 区更低的自旋上出现 $\beta = 0.5 - 0.55$ 的超形变(轴长比为 1.65:1 的长椭圆);该超形变带将在自旋 30h 以上成为晕带;理论预言的该区域超形变带的最低自旋值(退激时的自旋值) I = ~ 10h 高于铜系区形状同质异能素的 I=0, 而低于 A ~ 150 区的 I = ~ 24h。理论还给出了该区域第二极小深度和其相对于第一极小的激发能以及动力学转动惯量值 J⁽²⁾, 指出该区域核第二极小比 A=150 区具有更深的深度, 并处于较低的激发能。在 R.R.Chasman 的计算中^[11], 对于自旋 I=40h, A=150 区超形变极小最深为 2.8MeV, 而 A ~ 190 区深度在 3.5-4MeV 以上。在 ¹⁵²Dy 中, 超形变带在 I=24h 退激时, 第二极小深度 W=1.5MeV, 而 A ~ 190 区超形变带在低至 I = ~ 10h 退激时, 第二极小深度 W ≥ 2MeV。在 A ~ 190 区, 既有库仑

能, 又可以有转动离心能抗衡表面能, 对壳修正能量给出位能面第二极小是相当有利的。图 1 是 R.R.Chasman 使用 Woods-Saxon 势在推转-Strutinsky 方法中, 对 A ~ 190 及附近的核计算得到的超形变第二极小深度和对应的形变值。该计算说明, 在 A ~ 190Hg-Pb 区核中布居高自旋超形变是很有利的, 且超形变极小深度随中子数增加而

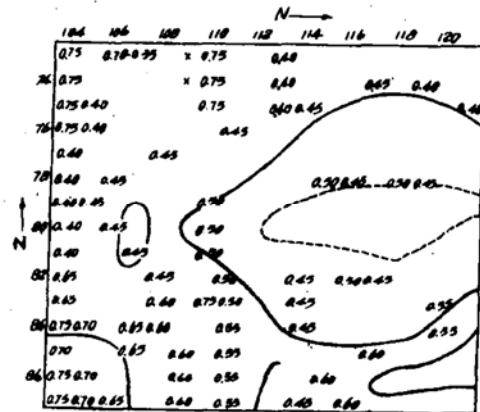


图 1 A=190 附近核素在 I=40 自旋值的超形变极小深度。实线为 2MeV 深度等高线, 虚线对应 3.5MeV。数字表示四极形变参数^[11]

增加, Pb 核比 Hg 核超形变极小有更深的深度和更低的激发能。M. Girod 和 P. Bonche 还指出^{[9][10]}, 超形变将在该区域一些核中(如 ¹⁹²Hg) 保持至 I=0。

1.2 目前, 在理论上有两种方法超出平均场概念而考虑微观动力学过程。第一种方法是建立集体玻尔哈密顿量, 其惯量、质量数和位能面由 Hartree-Fock-Bogoliubov 或 Hartree-Fock+BCS 计算推出。最近, J.P. Deloroché 等人^[12] 首次给出 ^{190,192,194}Hg I^π=0⁺ 超形变态分别位于 4.4, 5.4, 和 6.9

			¹⁹⁶ Pb ¹⁸⁰ Gd (40h, 4n) 180 MeV ¹⁷⁶ Yb (24h, 6n) 122 MeV		¹⁹⁶ Pb ¹⁷⁶ Yb (24h, 6n) 122 MeV
			¹⁹³ Tl ¹⁷⁶ Yb (20h, 6n) 122 MeV	¹⁹⁴ Tl ¹⁷⁶ Yb (20h, 5n) 116 MeV	
¹⁸⁹ Hg	¹⁹⁰ Hg	¹⁹¹ Hg ¹⁶⁰ Gd (30s, 5n) 172 MeV	¹⁹² Hg ¹⁶⁰ Gd (30s, 4n) 162 MeV ¹⁷⁶ Yb (20h, 6n) 122 MeV	¹⁹³ Hg ¹⁵⁰ Nd (40h, 5n) 218 MeV ¹⁷⁶ Yb (20h, 5n) 116 MeV	¹⁹⁴ Hg ¹⁵⁰ Nd (40h, 4n) 205 MeV ¹⁷⁶ Yb (20h, 4n) 112 MeV

图 2 部分核素图。给出 A=190Hg-Pb 已发现的超形变核、使用的核反应和入射能

MeV。第二种方法是基于Generator Coordinate Method(GCM),采用完全自恰的微观处理,将与集体变量(β)相联系的量子涨落考虑在内。P. Bonche 等^[10]发展的理论预言了超形变带带头随中子数的渐变,并解释了Hg超形变同位素链的突然终止。

2. A=190Hg-Pb区高自旋超形变的实验发现和研究

图2是核素图的一部分,给出迄今在A=190Hg-Pb区发现的高自旋超形变核和使用的核反应及入射能量。

2.1 ¹⁹¹Hg超形变带—A=190区的首次发现

1989年初,E. F. Moore 等人^[14]在美国Argonne实验室超导直线加速器ATLAS上,使用包括12个康普顿抑制Ge探测器和50个六棱柱BGO总能—多重性单元的在束 γ 符合探测装置Argonne-Notre Dame,在¹⁹¹Hg中发现了该区域第一条超形变带。鉴于¹⁹¹Hg已知 γ 重数分布峰位为13重, γ - γ 符合数据分析中,选择重数 > 14 重的符合事件。在这样的高多重性限制下,相应于¹⁹¹Hg的5n反应道 γ - γ 符合事件数仍达 57×10^6 。

¹⁹¹Hg超形变带由12条 γ 级联跃迁组成,能量由带底部的350 keV变到顶部的754 keV,相邻 γ 跃迁能量差 ΔE_γ 从40 keV变化到33 keV,由其平均值 $\overline{\Delta E}_\gamma = 37$ keV得平均动力学转动惯量 $\overline{J}^{(2)} = 110\hbar^2\text{MeV}^{-1}$,与R. R. Chasman^[11]预言的 $109\hbar^2\text{MeV}^{-1}$ 和微观Hartree-Fock计算给出的 $120\hbar^2\text{MeV}^{-1}$ 符合很好。但 $J^{(2)} \sim \hbar\omega$ 显著上升,这是上述计算不能解释的。该超形变带相对强度为2%,向下延伸至0.175 MeV的很低转动频率,相应于自旋 $10\hbar$ 。该超形变带仅馈送 $\frac{17}{2}^+$ 转晕态。DSAM态寿命测量给出四极矩 $\sim 18 \pm 3\text{eb}$,与理论给出的超形变值 $\beta = 0.55$ 很好符合。

其后,M. P. Carpenter 等人^[15]又发现了¹⁹¹Hg的另外两条超形变带——激发的超

形变带。

2.2 ¹⁹²Hg超形变带

D. Ye 等人在Argonne^[16], J. A. Beker 等人在Berkeley^[17]分别独立地发现了¹⁹²Hg的超形变带。该带由16条 γ 跃迁组成, E_γ 为257 keV-792 keV,自旋 $8^+ - 42^+$, ΔE_γ 为42 keV-30 keV, $J^{(2)}$ 由 $93\hbar^2\text{MeV}^{-1}$ 增加到 $131\hbar^2\text{MeV}^{-1}$,相对强度为1.9%,向下延伸至0.125 MeV的低转动频率,退激馈入晕态好几个能级和其附近能级,包括正、负宇称正常带。

2.3 ^{193,194}Hg超形变带—丰富的多重超形变带

M. A. Riley 等人在英国Daresbury实验室^[18], E. M. Henry 等人在美国Berkeley^[19]分别独立地发现了^{193,194}Hg的超形变带。迄今为止,在¹⁹³Hg中发现的超形变带已多达5条,在¹⁹⁴Hg中发现了3条。¹⁹³Hg的相对强度最强的超形变带(被认为是“基态”超形变带或“晕态”超形变带)包括12条 γ 跃迁, ΔE_γ 为40 keV-32 keV。¹⁹⁴Hg的基态超形变带包括18条 γ 跃迁, $\Delta E_\gamma = 40\text{keV} - 30\text{keV}$,在 $\hbar\omega \sim 0.127\text{MeV}$ ($I = 10\hbar$)退激。作为该核区发现的超形变带的典型实例,图3表示¹⁹⁴Hg的三条超形变带的 γ 能谱。其中,强度较弱的两条为Signature伙伴带(Signature Partners)。

2.4 ^{193,194}Tl超形变带—该核区奇质子核超形变

W. H. Kelly 等人在Berkeley发现了该核区第一个奇质子高自旋超形变核¹⁹³Tl和¹⁹⁴Tl。有趣的是,其动力学转动惯量也随 $\hbar\omega$ 增大而上升^[20]。

2.5 ^{194,196}Pb超形变带—最低的退激频率和自旋值

K. Theine 等人^[21]在西柏林HMI研究所(使用在束 γ 装置OSIRIS), M. J. Brinkman 等^[22]在Berkeley,分别发现了¹⁹⁴Pb和¹⁹⁶Pb的超形变带。¹⁹⁴Pb超形变带一直向下延伸至 $\hbar\omega \sim 0.085\text{MeV}$ 的极低频率(自旋值 6^+),这是迄今在除铜系区之外的各核

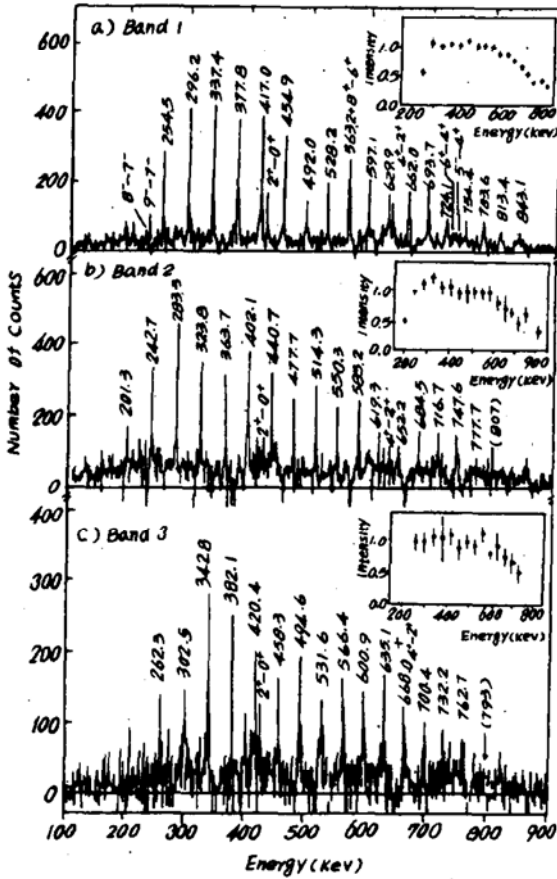


图3 ^{194}Hg 的多重超形变带能谱, 并给出相对强度

区中观察到的超形变带的最低自旋。该带 γ 跃迁能量 E_γ 为169、213、256、298、340、380、532和560 keV, 与 ^{192}Hg 和 ^{194}Hg 超形变带非常相似。

2.6 $^{189,190}\text{Hg}$ 超形变带

M. W. Drigert 等人还发现了 $^{189,190}\text{Hg}$ 超形变带^[23]。

2.7 超形变态寿命测量

已使用 DSAM 方法, 确定超形变跃迁 γ 峰位能量的多普勒位移, 测量了 $A=190$ Hg-Pb 区大多数超形变带态寿命, 由得到的四极矩值推出形变值 $\beta \sim 0.55$ 。然而, 多普勒展宽 γ 峰的形状包含有比峰位移更丰富的信息。前者不仅灵敏于寿命, 而且灵敏于该态的馈入历史(正馈和边馈)。E. F. Moore 等人对 ^{192}Hg 作了具有高数据统计的 DSAM 测量^[24], 通过对展宽的 γ 峰形状的拟合分析, 得到了超形变态边馈送时间的信息。

2.8 超形变带退激馈入正常带时的时间延迟测量

超形变带内极快的 E2 级联下到带底部后的突然退激涉及到核形状和单粒子轨道占据的巨大变化, 因而带底部退激时可能存在的时间延迟具有重要的实验和理论意义。

M. P. Carpenter 等人^[25] 在 Argonne 实验室, 在核反应 $^{160}\text{Gd}(^{36}\text{S}, 4, 5n)^{191,192}\text{Hg}$ 中, 使用薄靶, 并分别在距靶 5 和 0.8 mm 处放置 Au 阻止器, 进行 $\gamma-\gamma$ 符合测量。在数据分析中, 对比分析了同 $^{191,192}\text{Hg}$ 超形变跃迁符合的、和同高位晕带跃迁符合的较低位的晕带跃迁的 γ 谱, 在 γ 谱中寻找这些晕带 γ 跃迁在飞行中和在阻止情况下的 γ 峰分支, 成功地得到了 $^{191,192}\text{Hg}$ 超形变带退激馈入晕带时存在时间延迟的实验证据。

2.9 $A=190$ 区 0^+ 形状同质异能态——可能的超形变带带头的寻找

理论预言该区域核超形变可能保持至零自旋(参见一, 1.1 和 1.2 节)。E. A. Henry 等人用轻离子反应和 β 衰变来寻找这些可能存在的 $I^\pi = 0^+$ 带头^[26]。

轻离子反应曾被用来研究铜系区的超形变形状同质异能现象。布居机率仅为总截面的 0.01%, 但 $^{236,238}\text{U}$ 的同质异能衰变谱学研究是成功的。已选用反应 $^{197}\text{Au}(p, 2n)^{196}\text{Hg}$ 和 $^{197}\text{Au}(T, 2n)^{198}\text{Hg}$ 以寻找 $^{196,198}\text{Hg}$ 的同质异能态, 数据分析正在进行。

比 ^{194}Tl 更轻的同位素 β^+ 衰变 Q 值高于 5 MeV, 通过 β^+ 衰变来布居 Hg 核低自旋同质异能态, 占总 β^+ 衰变分支的 0.01% 的灵敏度是可能达到的。

3. $A=190$ Hg-Pb 区超形变谱学研究——同 $A=150$ 和 $130-140$ 区的对比

3.1 与 $A=150$ 和 $A=130-140$ 区的共同特征

(1) 建立在超形变第二极小上, 该区域形变 $\beta = 0.55$ 。

(2) 相邻 γ 能量差 ΔE_γ 给出与超形变对应的高转动惯量 $J^{(2)}$ 。

(3) 以极高的带内 E2 跃迁机率, 极快的 E2 级联, 保持跃迁强度下到带底部, 然后突然退激。

(4) 除 ^{190}Hg 以外, 各超形变带退激经过多条路径, 馈入多个正常态, 且往往涉及正、负宇称带, 退激跃迁很可能具有统计性质。

(5) 相对强度较弱, 但却上伸至显著高于正常形变带的自旋区, 涉及不同布居模式。

(6) 高 j 侵入轨道的占据是形成超形变, 并显示丰富谱学现象的重要原因。与 $A = 150$ 类似, 在同一个核中观察到了多重超形变带。

3.2 A = 190Hg - Pb 区超形变带的独特性质

3.2.1 退激转动频率和自旋

对于 Hg 核, 超形变带退激的转动频率低至 $\hbar\omega \sim 0.125\text{MeV}$, 自旋 $I = \sim 10 - 8\hbar$; 而对 Pb 核, 更低至 $\hbar\omega \sim 0.085\text{MeV}$, 自旋 $I = \sim 6\hbar$, 比 $A = 150$ 区的退激自旋 $I \sim 24\hbar$ 低得多。在 Hg 同位素中, $^{189,190}\text{Hg}$ 退激频率 $\hbar\omega \sim 0.180\text{MeV}$ 是最高的, 并随中子数增加而减小。

3.2.2 馈入模式

该核区超形变带布居的平均自旋(以达到相对强度的 50% 为标准, 从相对强度 ~ 自旋关系曲线得到)为 $\sim 30\hbar$, 明显低于 $A = 150$ 区。这与该核区超形变带出现在较低的自旋范围, 且在较低的自旋 ($30\hbar$ 以上) 成为晕带有关 ($A = 150$ 区, 在 $55\hbar$ 以上成为晕带)。

T. L. Khoo 等人²⁷ 使用核反应 $^{60}\text{Gd} (^{36}\text{S}, 5n, 4n)^{191,192}\text{Hg}$, 在几种束流能量下研究了其超形变带和正常带的入口点 (entry point), 发现, 前者要高 $\sim 10\hbar$, 而内部激发能 $E^* = E_{\text{int}} - E_{\text{yrast}}$ 至少比后者低 2MeV , 即超形变带初始布居发生在较高自旋区和较冷的激发能区。束流入射能增加时, 入口自旋增加, 但布居平均自旋均为 $\sim 30\hbar$ 不变。也就是说, 蒸发余核初始自旋分布极大值 l_{max} 增大时, 超形变态的先驱 γ 级联多重性也增加, 而布居平均自旋位置不变。与蒸发余核 l 分布计算值比较, 并使用 CASCADE 程序计算裂变道的竞争, 发现超形变带初始布居产生于余核自旋分布尾部, 当 $l > 40$ 时, 裂变道突然开放。裂变道在较低的 l 值开放, 可能是 Hg - Pb 区超形变未达到 $A = 150$ 和 $A = 130 - 140$ 区那样高的自旋的原因。

3.2.3 动力学转动惯量 $J^{(2)}$

$A = 190\text{Hg} - \text{Pb}$ 区超形变带一个最引人注目的特点是: 不论是偶 - 偶核, 偶 - 奇核还是奇 - 偶核, $J^{(2)}$ 均随转动频率 $\hbar\omega$ 增大而显著上升, 最高可达 40%, 且大都有 $J^{(2)} > J^{(1)}$ 。图 4 给出该核区全部已发现的超形变带的 $J^{(2)} \sim \hbar\omega$ 曲线, $J^{(2)}$ 上升的特点清晰可见。而在 $A = 150$ 区, Dy 核 $J^{(2)}$ 随 $\hbar\omega$ 增加的变化很小, 在高 $\hbar\omega$ 区几乎为一常值, 且与 $J^{(1)}$ 一致。而 Gd 核 $J^{(2)}$ 随 $\hbar\omega$ 增大而减小, 且 $J^{(2)} > J^{(1)}$ 。高 j 轨道的占据相当成功地解释了 $A = 150$ 和 $A = 130 - 140$ 区 $J^{(2)}$ 的谱学性质, Hg - Pb 区 $J^{(2)}$ 的这种显著上升对超形变结构的研究提出了新的挑战。(待续)

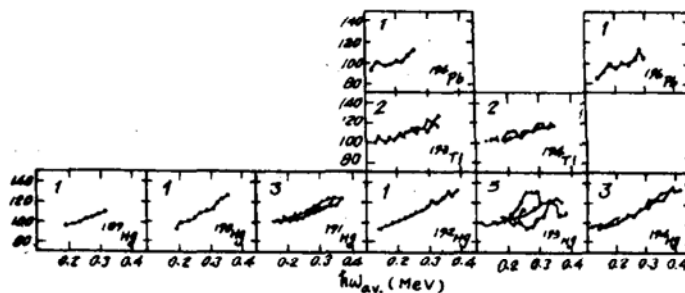
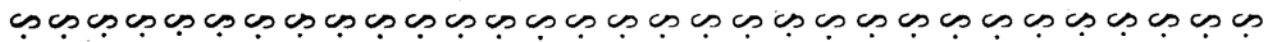


图 4 A = 190 Hg - Pb 区超形变带动力学转动惯量 $J^{(2)} \sim \hbar\omega$ 图, 数字为已发现的超形变带数目

参考文献

- [1] S. M. Polikanov et.al., Soviet Phys. JETP 15 1016 (1962)
W. M. Strutinsky Sov. J. Nucl. Phys. 3, 449 (1966)
- [2] R. Bengtsson et.al., Phys. Lett. 57B, 301(1975)
J. Dudek et.al., Phys. Rev. C31, 298(1985)
- [3] P. J. Twin et.al., Phys. Rev. Lett. 57, 811 (1986)
P. J. Nolaam et.al., J. Phys. G11 (1985)L17
- [4] J. H. Hamilton et. al., Rep. Prog. Phys. 48, 654 (1985)
R. Bengtsson et. al., Phys. Lett. 183B, 1(1987)
- [5] J. H. Hamilton et. al., Nukleonika 24, 561 (1979)
- [6] S. Aberg Phys. Scr. 25, 23(1982)
- [7] J. Dudek Preprint, CRN/PN 87/10
- [8] M. S. Weiss et. al., in Proceedings of the O-E Lase 88 Conference. Los Angles, 1988 Vol. 875, P 109
- [9] P. Bonche et.al. Nucl. Phys. A500, 308 (1989)
- [10] M. Girod et. al. Phys. Rev. 62, 2452 (1989)
- [11] R. R. Chasman Phys. Lett. B219, 227 (1989)
- [12] J. P. Deloroche et.al., Phys. Lett. B232, 145 (1989)
- [13] P. Bonche et.al., Nucl. Phys. A (1990) in press
- [14] E. F. Moore et. al., Phys. Rev. Lett. 63, 360 (1989)
- [15] M. P. Carpenter et.al., Phys. Lett. B (1990), in press
- [16] D. Ye et.al., Phys. Rev. C41, (1990)R13
- [17] J. A. Beker et.al., Phys. Rev. C41, (1990)R9
- [18] M. A. Riley et.al., Nucl. Phys. A512, 178 (1990)
- [19] E. A. Henry et. al., Z. Phys. A 335, 361 (1990)
C. W. Beausang et.al., Z. Phys. A335, 326(1990)
- [20] W. H. Kelly et.al., Proc. of Conf. on Nucl. Stru. in the Nineties, Oak Ridge, P 24
F. Azaiez et.al., Z. Phys. A(1989)
- [21] K. Theine et.al., Z. Phys. A336, 113(1990)
- [22] M. J. Brinkman et.al., Z. Phys. A336 115(1990)
- [23] M. W. Drigert et.al., to be published
- [24] E. F. Moore et.al., 同[20], P 30
- [25] M. P. Carpenter et.al., 同[24], P 8
- [26] E. A. Henry et.al., 同上
- [27] T. L. Khoo et.al., 同上



(上接 48 页)

人们相信,随着辐射加工技术影响的不断扩大,人们的认识不断深入,国营四〇四厂兰州辐射技术开发中心这颗

大西北正在升起的新星,将在更加广阔的天地里驰骋。

《原子核物理学微机试题库》通过技术鉴定

由解放军防化指挥工程学院研制的《原子核物理学微机试题库》,于 1990 年 3 月 29 日通过了由中国核工业总公司教育培训部和中国核物理学会教学专业组组织的技术鉴定。中国核工业总公司、中国核物理学会、国家教委高教司、北京大学、清华大学、北京师范大学、北京师范学院、中国原子能科学研究院、中国科学院高能物理研究所、防化研究院、防化学院等十一个单位 23 名同志参加了鉴定会。中国科学院学部委员、北京大学胡济民教授主持了专家技术鉴定委员会。

专家技术鉴定委员会认为:“《原子核物理学微机试题库》是我国原子核物理学学科的第一个现代化考核工具,首次在我国核物理课程教学中实现了命题的自动化、程序化。其特点是:结构合理、功能齐全、设计科学、技术先进、命题效率高,能提高命题效率 20 ~ 30 倍,有较广的适用性。在核物理领域中,这一试题库属国内首创,设计合理,有助于提高核物理课程的教学效率,具有国内先进水平”。

该试题库由主控系统(用 dBASE III),试题、绘图软件和扩充汉字库四部分组成,具有主控、取题、建库、维护、检查、试卷打印、试卷管理、试卷备分、绘图、试卷质量分析和各级使用说明等 11 种功能。库存试题 1063 道,涉及原子核性质、核力、核结构、核衰变、核反应、核裂变、中子、粒子和核辐射与物质相互作用等内容。由于试题按三层次(难、中等、基本)设计编排,可适用于核物理专业和非核物理专业,核物理课程的大专、本科和硕士研究生考核之用。由于主控系统、试题、绘图软件和扩充汉字库具有相对独立性,可以单独使用或制成其它学科的试题库。

全套题库由 13 张软磁盘录制,可适用于 IBM-PC xT/AT 及其兼容机,采用了菜单提示的人机对话技术,为非计算机专业人员使用提供了极大的方便。

(中国人民解放军防化指挥工程学院

王永芬供稿)